



Városi területhasználat és felszínborítás vizsgálata távérzékeléses módszerekkel

*Mucsi László – Kovács Ferenc – Henits László – Tobak Zsolt –
Boudwijn van Leeuwen – Szatmári József – Mészáros Mihály*

1. Bevezetés

Rendszerint egy város életében néhány év nem hoz olyan mértékű változást, mely döntően befolyásolhatja a város térbeli szerkezetét, anyag-, energiaháztartási folyamatait. Természetesen, a szerencsére ritkán előforduló, gyorsan lejátszódó események (tűzvész, árvíz, háborúk, föld-rengés stb.) akár évtizedekre, évszázadokra is meghatározhatják a város későbbi fejlődését. A város belső szerkezetének változása elsősorban a városfejlesztési koncepciók és tervek megvalósulásától, a szabad, beépíthető területek meglététől függ. A szerkezet viszonylagos változatlansága mellett megfigyelhető a különböző beépítettségű területek belső átalakulása, nem ritkán a funkció változása. A belső átalakulásokat katalizálhatják politikai, gazdasági döntések, s ezek következtében olyan belső folyamatok indulnak el a városban, melyek – elsősorban a környezetre gyakorolt – hatásai még nem ismertek.

A városi beépítettség, a városi területhasználat (*urban land use*) térbeli és időbeli változásának és a beépítettség-változás okozta környezeti hatások (pl. a városklíma változásának humánökológiai hatásainak) elemzése vagy a beépítettség változás okozta társadalmi hatások értékelése a városökológiai kutatás alapvető feladata.

2. Célkitűzések

A városi felszínborítás (*urban land cover*) távérzékeléses módszertanra épülő elemzéseit áttekintve kiderült, hogy a legnagyobb problémát a *megbízható, naprakész beépítettségi térképek hiánya*, illetve a *beépítettség változásából eredő társadalmi, környezeti konfliktusok elemzésének, a kapcsolatok bizonyításának nehézsége* okozza.

A beépítettség aktuális adatai a földhivatali digitális adatbázisokban, az építési szabályzat mellékleteiben megtalálhatók, de ezek az elemzők számára nehezen hozzáférhetőek. A polgári gyakorlatban legjobban elérhető topográfiai térképek frissítése viszont rendkívül költséges, pl. Szegedről is csak az 1980-as évek közepéről áll

rendelkezésre 1:10000 méretarányú térkép. Ezért a beépítettség vizsgálatát, az 1970-es évektől kezdődően, olyan űrfelvételekre alapozhattuk, melyek vagy rendkívül jó geometriai felbontásúak vagy közepes felbontással, de több hullámhossz-tartományban, több időpontra vonatkozóan is rendelkezésre álltak.

Az adatbázis felépítése után, ill. a digitális képfeldolgozás módszertani lehetőségeit megismerve a következő, az általános célkitűzéseknél konkrétabb, célkitűzéseket tudtuk fogalmazni:

1. A térben változó városi felszínborításokról különböző módon visszaverődő (reflektálódó) elektromágneses sugárzás mennyisége, az eltérő térbeli felbontású¹ űrfelvételeken, összetett információt hordozó értéként (pixelérték) jelenik meg. Ezért a városi beépítettség, a területhasználati típusok térbeli megkülönböztetése, lehatárolása űrfelvételek segítségével, a hagyományos képfeldolgozási eljárások (pixelalapú osztályozás) alkalmazásával, nehezen vagy egyáltalán nem valósítható meg. A városi beépítettség űrfelvétel alapú vizsgálatakor figyelemmel kell lenni az űrfelvétel geometriai felbontásának és a városi beépítettség sajátos, mérhető paramétereinek (pl. a mintázat, az ismétlődő formák térbeli kiterjedése stb.) kapcsolatára. Ezért elsődleges célul tűztük ki, hogy *geostatistikai módszerekkel meghatározzuk a beépítettség típusok mintázatának jellemző térbeli paramétereit, melyek ismeretében megállapítható, hogy mely űrfelvételek használhatók a beépítettség űrfelvétel alapú térképezésekor*. Ezután, a szakirodalomban fellelhető képfeldolgozási módszerek közül meg kellett találni azt a lehető legjobbat, mely – kihasználva a pixelértékben rejlő összetett visszaverődési sajátosságokat – nagyobb pontossággal vezet egy városi beépítettségi térkép készítéséhez, mint a hagyományos osztályozási módszerek.

2. A városi beépítettségi térképek és általánosabban a *városi felszínborítás térbeli és időbeli változásának elemzésével be kívánjuk mutatni, hogy milyen változások, folyamatok zajlottak Szegeden az 1970-es évek elejétől napjainkig*. A szabad, beépítetlen területek beépítése mellett kisebb figyelmet fordítanak a kutatók a telekszintű változásokra, melyek összetett környezeti hatásaira csak mostanában döbbenek rá a döntéshozók és a lakosság. A hagyományos, falusias jellegű városrészekben az építési szabályzatok és a lakásépítés, vásárlás állami támogatása adta lehetőségeket kihasználva gyakran 20–30 lakásos társasházak foglalták el az alacsony komfortfokozatú házak helyét, csökkentve a zöldfelületet, növelve a mesterséges felszínnek arányát.

3. Területhasználati kategóriák hazai és nemzetközi értelmezése

Az EU tagállamai először az 1990-es évek közepén tettek kísérletet városi terület-használat egységes nevezéktan szerinti értelmezésére. Az Európai Unió tagállamainak képviselői római tanácskozásukon megegyeztek egy 9 pilot-projektből álló program indításában, mely „*A távérzékelés szerepe az európai statisztikai információs rend-*

¹ egy adott képelem (pixel), mekkora földi területnek felel meg, pl. 1 pixel=10x10 m.

szerekben” címet viselte. Célja a különböző területhasználatú, pl. az agglomerációs területek úrfelvételek segítségével történő lehatárolása volt. A programot az EU Központi Statisztikai Hivatala, az EUROSTAT irányította. A CLUSTERS (*Classification for Land Use Statistics Eurostat Remote Sensing programme*) nevű alprogramban az EUROSTAT által kidolgozott nomenklaturát használták, melyet az Európai Unió országai által igényelt területi bontásnak és jellemző területhasználati típusoknak megfelelően határoztak meg a statisztikusok (1. táblázat).

A statisztikai és a távérzékelési elveket figyelembe véve a következő fő beépítési típusokat különböztették meg: A–ember által beépített területek, B–mezőgazdasági hasznosítású területek, C–erdők, D–bokros, füves növényzettel fedett területek, E–gyér vegetációjú vagy vegetáció nélküli területek, F–mocsaras és vízzel borított területek (az ember által beépített területek további szintjeit az 1. táblázat tartalmazza).

A távérzékelés segítségével a települések, különösen az agglomerációk (olyan egymáshoz csatlakozó épületek halmaza, amelyekben emberek élnek és dolgoznak, függetlenül az adminisztratív határoktól, és az épületek folytonosan beépített területet alkotnak, azaz nincs olyan épület, ami 200 méternél távolabb van a hozzá legközelebbitől) pontosabban lehatárolhatók, s az ún. urbán morfológikus zóna kijelölhető.

A kísérlet során, alapvetően a távérzékelte adatok digitális képfeldolgozási módszerekkel történő elemzésével megállapították, hogy a pixelalapú osztályozás akkor ismert módszereivel rendkívül nehéz a felszínborítási adatokból területhasználati térképet szerkeszteni.

1. táblázat. Az EUROSTAT CLUSTERS nomenklaturája a beépített (A) szintre (Mucsi L. 1996)

A1	lakott terület, közszolgáltatások által elfoglalt terület (á.e.t.)	A11	lakott terület	A111	folytonosan beépített és sűrűn lakott terület
				A112	folytonosan beépített, mérs. sűrűn lakott terület
				A113	mérsékeltén sűrűn lakott, nem folyt. beépített terület
				A114	izolált lakott terület
				A115	lakótelep á.e.t.
		A12	közszolgáltatás, helyi hatóság á.e.t.	A120	közszolgáltatás, helyi hatóság á.e.t.
A2		A20	ipari és kereskedelmi tevékenység által elfoglalt terület	A201	erősen ipari tevékenység
				A202	kisipari, manufaktrális tev. á.e.t.
				A203	kereskedelmi és pénzügyi tev. és szolgáltatás á.e.t.
				A204	mezőgazdasági tulajdon á.e.t.

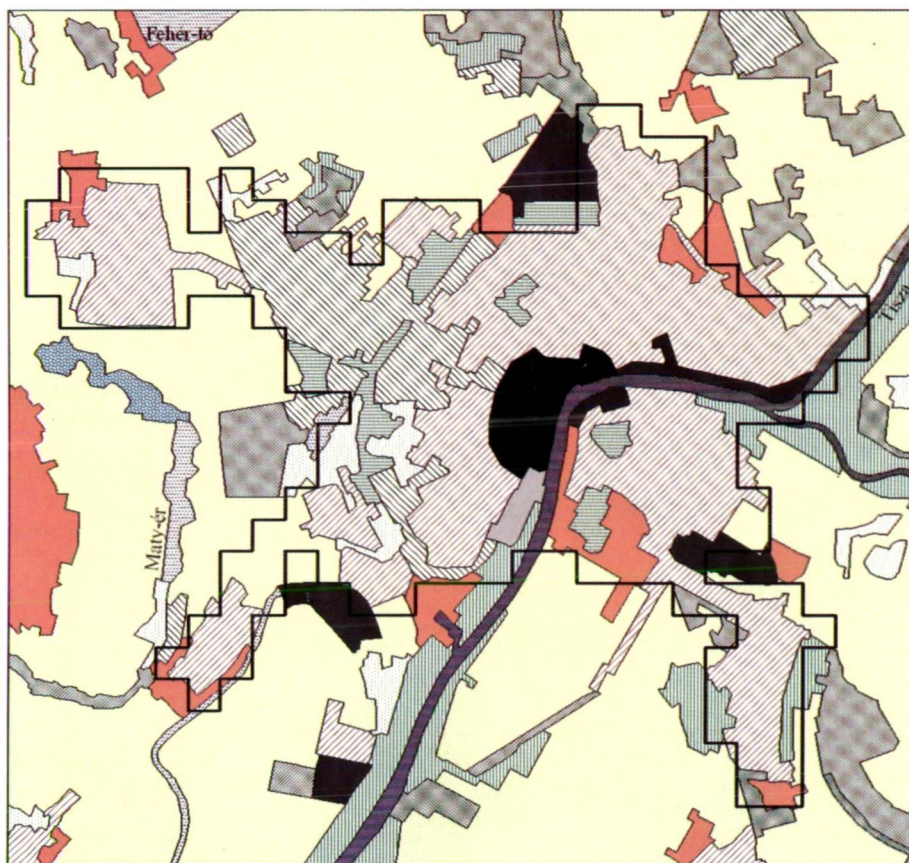
A3	A31	technikai infrastruktúra által elfoglalt terület	A311	technikai hálózatok, védelmi épület, építmény á.e.t.
			A312	víz és szennyvízkezelés, feldolgozás á.e.t.
	A32	szállítás által elfoglalt terület	A321	közúton való szállítás á.e.t.
			A322	vasúton való szállítás á.e.t.
			A323	légi szállítás, repülőtér á.e.t.
			A324	folyami és tengeri szállítás á.e.t.
A4	A41	természeti kincseket kitermelő iparágak á.e.t.	A410	természeti kincseket kitermelő iparágak á.e.t.
	A42	építési terület hulladéklerakó által elfoglalt terület	A421	építési terület
			A422	törmeléklerakó á.e.t.
			A423	hulladéklerakó á.e.t.
A5	A50	szabadidő terület	A501	kulturális létesítmények á.e.t.
			A502	sportlétesítmények á.e.t.
			A503	zöld és pihenő terület

A táblázatból egyértelműen kiderül, hogy a 3-szintű hierarchikus nevezéktan leg-részletesebb osztályai is túlságosan általánosak ahhoz, hogy azok konkrét felszínborítási kategóriának, vagy felszínborítási kategóriák jól meghatározható keverékének feleljenek meg. Emiatt, bár a nevezéktan egységesítése megtörtént, a CLUSTER projekt nem hozta meg a felszínborítás és a területhasználat távérzékeléses módszerekkel történő térképezésében a forradalmi áttörést.

A későbbiekben a probléma feloldására két utat találtak a kutatók. Vagy a távérzékelte adatokból vizuális kiértékeléssel állapították meg, határolták le a területhasználati típusokat, felszíneket (CORINE program) vagy új képfeldolgozási módszereket kerestek a felszínborítás térképezésében és a területhasználati kategóriákat egyszerűsítve jelenítették meg térképeiket.

Az előbbi irányzat – a vizuális kiértékelésen alapuló térképezés – talán legismertebb eredményei a CORINE program során előállított térképek. Az Európai Unió által koordinált CORINE Land Cover program során egy egész Európát lefedő, az EURO-STAT nomenklatúrára alapuló, egységes kategóriarendszer szerinti területhasználati térképet hoztak létre (Mihály Sz. 2004). A program neve láthatóan megtévesztő, hiszen a térképek nem felszínborítást, hanem területhasználatot ábrázolnak. A program során, az 1990-es években, a Landsat TM képekre alapozva, 1:100000 méretarányban készültek térképek, majd a CLC 2000 programban SPOT és LANDSAT ETM+ műholdképeket

használtak (1. ábra)². A nomenklatúrához az adott sávkombinációban jellemző, jól felismerhető tanulóterületeket rendeltek, és ezeket a térképet készítő szakemberek megismerték, „megtanulták”, így a kinyomtatott úrfototérképeken a kategóriáknak megfelelő foltokat be tudták rajzolni. Itt tehát multispektrális űrfelvételekből készített analóg térképek szubjektív, az elemző tapasztalatán, felkészültségén alapuló térképkészítés folyt, amely ugyan talán lassabb és körülményesebb folyamat mint a digitális képkiértékelés, de az emberi döntéshozatal az adott méretarányban pontosabb eredményt hozott.



A felszínfedettség 2000-ben (CLC2000)

összefüggő településszerkezet	komplex művelési szerkezet
nem-összefüggő településszerkezet	mezőgazdasági terület természetes funkcióval
span, kereskedelmi területek	kombos erdő
út és vasúthálózat	erdős-cserjés
városi zöldterület	mocsár
sport-, szabadidő-, üdülőtér	folyóvíz
szántóföld	állóvíz
rét, legelő	mintaterület határa

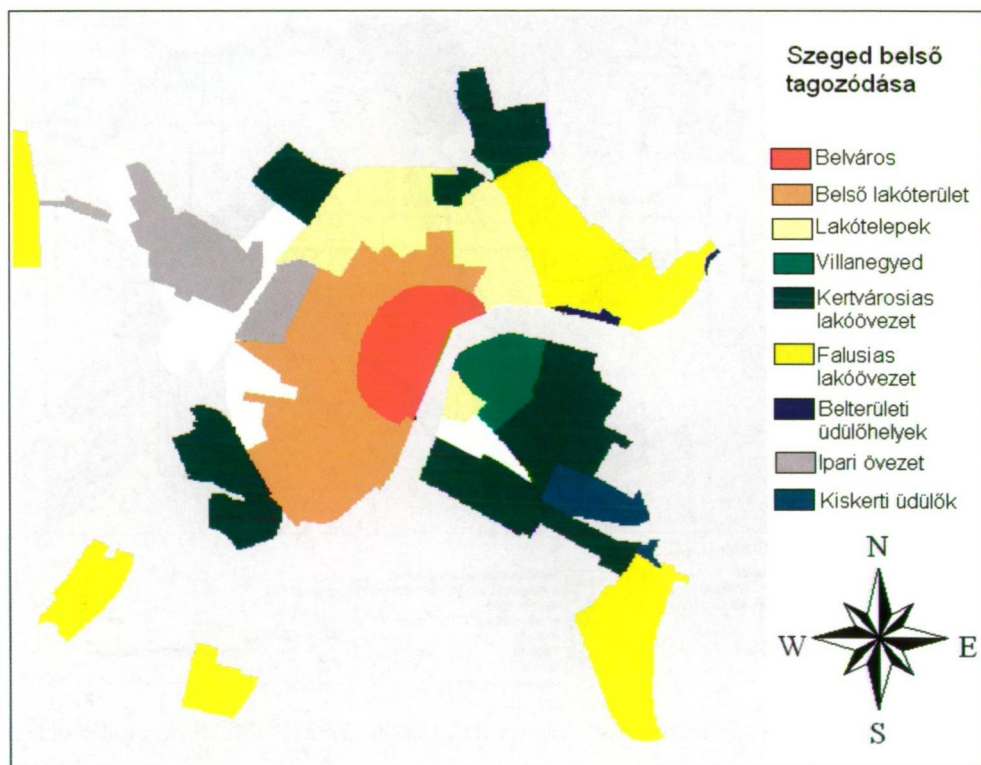


1. ábra. Felszínfedettség (területhasználat) Szegeden a CLC2000 szerint (FÖMI, módosítva Kovács F.)

A magyarországi, 2001. évi népszámlálási adatokból készített elemzésben (KSH, 2003) nem jelennek meg az EUROSTAT kategóriái, hanem az adatokat az alábbi beépítési, városszerkezeti zónák szerint értékelték:

- Belváros
- Hagyományos beépítésű belső lakóterület
- Lakótelepek
- Villanegyed
- Kertvárosias jellegű lakóövezet
- Falusias jellegű lakóövezet
- Belterületi üdülihelyek
- Ipari övezet
- Kiskerti üdüli
- Egyéb külterület

Az alapadatok ismeretében könnyen elkészíthető lenne egy, az egységes EUROSTAT nevezéktan szerinti városi területhasználati térkép, mely összeegyeztethető lenne egy multispektrális, vagy egy szupernagy felbontású úrfelvétellel.



2. ábra. Szeged belső funkcionális tagozódása (KSH, 2003)

A népszámlálási adatok és az úrfelvételekből levezetett területhasználati térképek együttes alkalmazhatóságát az is nehezíti, hogy az építési szabályzatokban, így Szeged Megyei Jogú Város Építési Szabályzatában is más nomenklatúra alapján (Országos Településrendezési és Építési Követelményekről szóló 253/1997. (XII. 20.) Korm. rend. szerint) határozzák meg a területhasználati típusokat.

A szabályozási terv a város közigazgatási területén

- beépítésre szánt területet,
- tervezett beépítésre szánt területet,
- beépítésre nem szánt területet

jelöl kirendeltetési (területfelhasználási) zónaként.

A beépítésre szánt területeket az építési használatuk általános jellege, valamint sajátos építési használatuk szerint további zónákra bontják (3. táblázat). Az építészeti szabályzatban rögzített zónákon belül, a kialakult vagy a még nem kialakult jellegtől függően, a zónára többé vagy kevésbé jellemző beépítés, területhasználat jellemző. A kialakult jellegű zónákban, ahol a beépítés jellege már nem változik jelentősen, így az építészeti nomenklatúra szerint osztályozott területek megfeleltetését a statisztikai alapú funkcionális térbeli egységekkel könnyen meg lehet tenni, míg a kialakulatlan (változó) jellegű építészeti zónákban az aktuális területhasználat térképezése csak részszónák kijelölésével lehetséges, pl. szupernagy felbontású úrfelvételek alapján.

3. táblázat. Beépítésre szánt területet rendeltetési zónái az építési szabályzatban

beépítésre szánt területet	lakó	Nagyvárosias (nagy laksűrűségű) lakózóna (Ln)
		Kisvárosias (közepes laksűrűségű) lakózóna (Lk)
		Kertvárosias (alacsony laksűrűségű) lakózóna (Lke)
	vegyes	Településközpont vegyes zóna (Vt)
		Központi vegyes zóna (Vke)
	gazdasági	Kereskedelmi, szolgáltató, gazdasági zóna (Gksz)
		Zavaró hatású ipari zóna (Gip)
		Egyéb ipari zóna (Ge)
	üdülő	Üdülőházak zóna (Üü)
		Hétféle házak zóna (Üh)
	különleges	Különleges kereskedelmi célú zóna (Kke)
		Különleges intézményi zóna (Ki)
		Bányászati zóna (Kb)
		Honvédelmi zóna (Kbo)
		Hulladék elhelyezésére szolgáló zóna (Klj)
		Különleges közlekedési zóna (Kkő)
		Városüzemeltetési célokat szolgáló kertészet zónája (Kk).

4. Módszerek és felhasznált adatok

A városi felszínborítás és a területhasználat térképezésének eltérő módszertanát, és az űrfelvételek készítésének fizikai törvényszerűségeit figyelembe véve megállapítható, hogy városi területhasználati térképet multispektrális űrfelvételek digitális feldolgozásával közvetlenül nem tudunk előállítani, viszont különböző képfeldolgozási módszerek alkalmazásával nagy pontosságú felszínborítási térképek készíthetők űrfelvételek alapján.

A növényvel és a mesterséges anyagokkal fedett felszínek inverz korrelációja miatt a városi mesterséges felszínek elkülönítése történhet a növényzet térképezésén keresztül is, pl. az ún. *tassaled cap index greenness* összetevőjének (Bauer et al., 2004) vagy az NDVI – normalizált vegetációs index (Gillies et al., 2003) alkalmazásával.

A NOAA-AVHRR, vagy a Terra-MODIS érzékelővel minden területről naponta készülő multispektrális felvételek kitűnő alapot nyújtanak a Maximum Érték Kompozitok (MVC) létrehozásához³. Ezt az időfelbontást nagyobb térbeli részletességnél – ahol a kedvezőtlen meteorológiai tényezők is nagyobb súllyal szerepelnek – jó minőségben csak többféle műszer használatával és jóval költségesebben érhetjük el. Az említett műholdfelvételek saját vevőkészülékkel, a rendszer kiépítése után ingyen rögzíthetők.

A városi felszín beépítettségi változásvizsgálatakor törekedtünk arra, hogy a lehető legszélesebb időintervallumra vonatkozzanak az űrfelvételek.

A legkorábbi felvétel (Corona-KH-4B, 1972. május 20.) lehetséges legjobb felbontása 2 m közeli, ezt a választott szkennelési felbontás (7 mikron) sikerült megközelíteni. A fekete-fehér (szürkeárnyaltos) kép viszont csak a főbb beépítési típusok elkülönítésére volt elegendő, a multispektrális képek feldolgozásához hasonló módszereket ezen felvételen nem lehetett elvégezni. A kiváló geometriai felbontás viszont lehetővé tette a beépített terület, a városi határzóna (*urban fringe*) lehatárolását, ezáltal az így elkészült térképet lehetett a térbeli változásvizsgálat bázisaként tekinteni.

Az 1970-es évek végétől már rendelkezésre álltak digitális, multispektrális űrfelvételek is a Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék adattárban, illetve letölthetők voltak az ESDI (*Earth Science Data Interface*) adatbázisából⁴. A felvételek kiválogatásakor törekedtünk arra, hogy lehetőleg a nyári vegetációs időszakból származó képeket elemezzünk. Sikerült néhány olyan felvételt találni, melyek az év ugyanazon hónapjában, néhány év eltéréssel szinte ugyanazon a napon készültek (4. táblázat).

³ Adott időszak alatt megkeresik a területről készült képből a maximális vegetációs értékkel bíró pixeleket, és ezek alapján válogatják ki az eredeti képekből az új, kompozit kép cellaértékeit.

⁴ <http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>



3. ábra. Szeged belterületének részlete Corona (1972, fent)
és IKONOS 432 RGB kompoziton (2004, lent)

4. táblázat. A vizsgálat során felhasznált űrfelvételek legfontosabb adatai

<i>dátum</i>	<i>műhold típusa, szenzor neve</i>	<i>sávok száma</i>	<i>felbontás</i>
1972.05.20.	Corona	1	kb. 2 m
1986.06.19.	Landsat TM	7	30 m (120 m)
1991.06.17.	Landsat TM	7	30 m (120 m)
2000.08.20.	Landsat ETM+	7	30 m
2002.06.23.	Landsat ETM+	7+1	30 m (60 m, 15 m)
2004.08.19.	IKONOS	4+1	4 m (1 m)
2006.09.30	Landsat TM	7	30 m (120 m)

5. Eredmények

A városi zöldfelületek vizsgálatakor elsőként a hagyományosnak tekinthető, pixel alapú, vegetációs indexszámítás módszerét használtuk. A multispektrális képalkotás során, elsősorban a laboratóriumi megfigyelések alapján megállapítható, hogy a növényzet reflektanciája a vörös és a közeli infravörös tartományban jelentős eltérést mutat. A két sávban kapott pixelértékek arányosak a pixel által reprezentált területről visszavert, adott hullámhossz-tartományú elektromágneses sugárzás spektrális össz-intenzitásával. A közeli infravörös tartományban a növényzet reflektanciája jelentősen megnő a vörös reflektanciához képest. Egyéb természetes (talaj, víz) felületek, vagy mesterséges felszínre is számítható ilyen index, mely értéke ilyen esetekben sokkal alacsonyabb mint a zöldfelület vegetációs indexe.

A leggyakrabban használt vegetációs index az NDVI (*Normalized Vegetation Index* – normalizált vegetációs index), mely az $IR-R/IR+R$ hányados alapján számítható ki pixelenként. Értéke -1 és $+1$ között változhat, a pozitív tartományba eső, egyre nagyobb értékek dúsabb, egészségesebb zöldfelület jelenlétére utalnak. Természetesen, mint minden optikai sávú képalkotásnál, a felhasznált űrfelvételeknél is a legfelső felszínborítási felület által reflektált energia mennyisége határozza meg az űrfelvétel képelemeinek értékeit a különböző hullámhossz-tartományokban. Ezért a nyári időszakban a lombkorona külső levélfelülete a reflektáló felület, az általa kiktart egyéb felületek nem „láthatók” a szenzor számára.

A városon belüli zöldfelületek és egyéb természetes felületek területi eloszlása utal a beépítettség mértékére, és adott területegységre számított statisztikai paraméterek (pl. átlag, szórás) összehasonlító elemzésével az időbeli változásokat is kimutathatjuk. Fontos megjegyezni, hogy a közepes (15–30 m) és a nagyobb (1–10 m) geometriai felbontású űrfelvételek egy adott pillanatban rögzítik a felszín állapotát. ezért zöldfelületek időbeli változását folytonosan nem tudjuk elemezni. Az űrfelvételekből származtatott adatok közvetlenül a változás tendenciáira és nem a sebességére utalnak. A felvételekből egyértelműen megállapítható a beépítés változása, de hogy pl. a két felvétel készítése közötti időszakban egy az első felvétel időpontjában még szabad felszínt mikor építettek be az már csak közvetett módon adható meg.

NDVI értékek vizsgálata MODIS felvételek alapján (2001–2004)

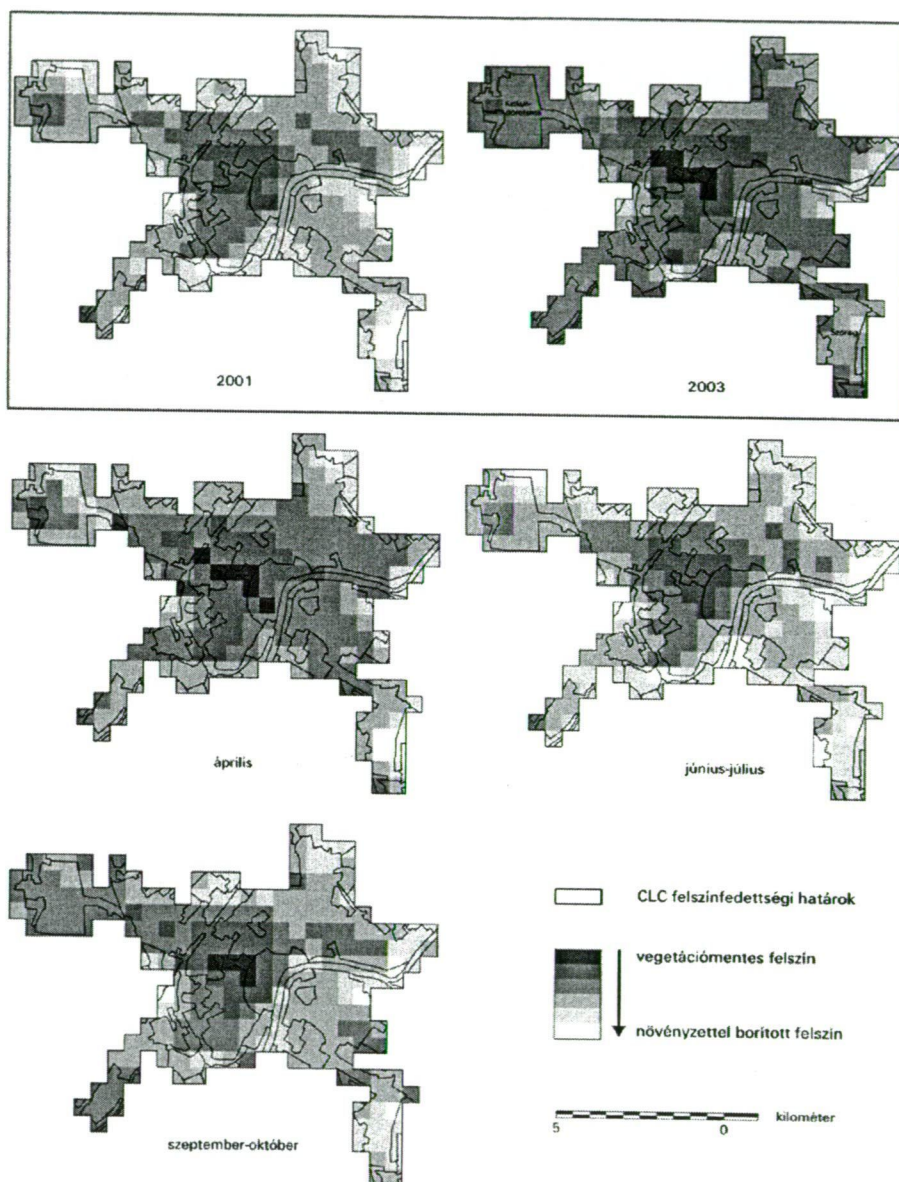
A MODIS felvételeken⁵ alapuló alkalmazásaink jól szemléltetik az 500 m-es térbeli részletességű havi kompozitok használhatóságát a tervezési folyamatokban és városökológiai vizsgálatokban. Céljaink között szerepelt, hogy a vegetáció nyári félévi, monitoring jellegű multispektrális vizsgálatán keresztül jellemezzük a Szegedre jellemző városökológiai viszonyokat, illetve egy rövid időszak alapján valószínűsítsünk kedvező, vagy kedvezőtlen folyamatokat. A 2001–2004 közötti időtartam természetesen kevés bármilyen általános változás, vagy tendencia megállapításához, de a megelőzés miatt jó, ha már most odafigyelünk egy-egy kedvezőtlen folyamatra. Az adott módszerek az időtartam folyamatos bővítésével, egyre több felvétel figyelembe vételével alkalmasak a pontosabb térbeli lehatárolásra, statisztikai elemzésre (4. ábra).

Az egyes évek, illetve hónapok közötti különbségeket tekintve a vegetáció térbeli eloszlásának ilyen mértékű változása alapvetően a meteorológiai paraméterekre vezethető vissza. Bár éves szinten, az index alapján, átlagosan azonos képet mutat a növényzet, a vegetáció érzékenységet jellemzi, hogy kedvezőtlen hőmérsékleti és csapadékvizonyok hatására egy-két éven belül is nagy különbségek alakulhatnak ki. Ez alapján a városon belül különösen a Kossuth Lajos sugárút környéki beépített- és ipari területek különülnek el alacsony növényi fedettségük miatt. Az egyes hónapok térbeli elemzésével az évszakos növekedés szerint is minősíthető az egyes városrészek „kizöldülésének” mértéke. Itt a rövid időszak ellenére is megállapítható tendenciaszerű, folyamatos csökkenés a vegetációs felszín arányában elsősorban május és augusztus hónapokban. A térbeli vizsgálatokat támogatja a növényzeti profilok elemzése, amelyekre jó példa az egy tavaszi és egy nyári időszakot bemutató 5. ábra.

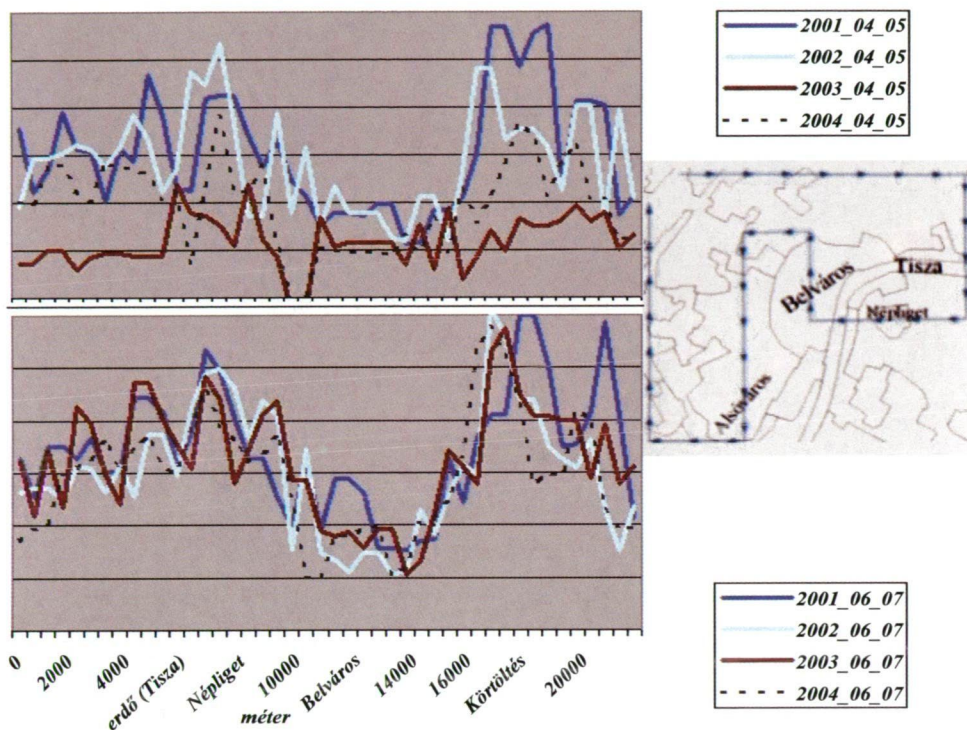
A vegetáció mennyiségének különbsége a beépített és a zöldterületek között mindkét évszakban azonosnak mondható. A legnagyobb különbség tavasszal figyelhető meg az ártéri erdő, a Népliget, valamint a Belváros között. A tavaszi értékek – áprilisi hónap alapján – a legingadozóbb jellegűek az adatsorban. 2001 és 2004 között egyértelműen 2003. év volt a legszárazabb, amikor kevés területen találkozhatunk jelentős vegetációval (6. ábra). Az előrejelzések szerint is fokozódó gyakoriságú csapadék- és hőmérsékleti ingadozások miatt célszerű ezen „extrém évek” következményeinek külön vizsgálata.

A környezet tényezők befolyásoló hatásai miatt lehatárolhatunk a városban vegetációs zónákat (7. ábra). A Duna-Tisza közén található lombos erdők jelentették azt az alapfelszínt, amelytől való eltérést ábrázoltuk a 2004. év osztályozásával. A városi magzóna Szegeden a Moszkvai körút – Berliini körút, illetve a Kossuth Lajos sugárút mentén jelölhető ki. Ilyen zóna Kiskundorozsmán is megjelenik és a körtöltésen kívüli beépített részek (Petőfitelep, Kecskés-telep, Iparváros, Baktó D-i része) is jól elkülönülnek a környezetüktől. Sokkal természetesebb képet mutat Szőreg, Hattyas, Kiskundorozsma ÉK-i területe és Baktó É-i része. A várostervezés célja nem lehet más, mint a városi környezetként jelölt területek minimalizálása.

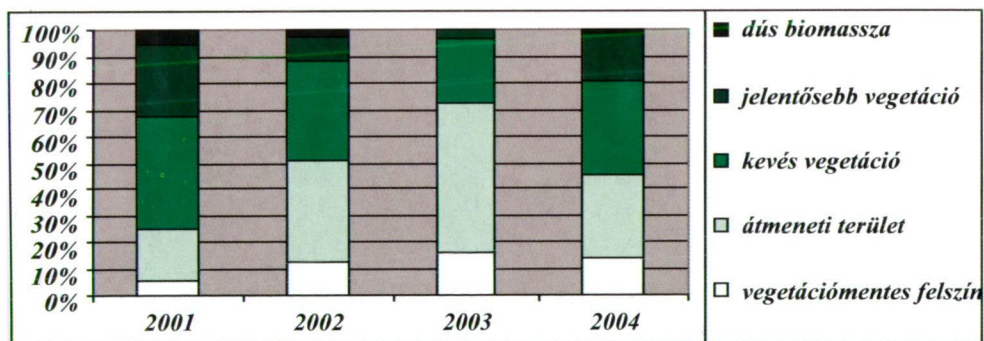
⁵ adatok: Global Land Cover Facility, Earth Science Data Interface



4. ábra. A vegetációs felszínfedettség átlagértékei évekre (2001, 2003) és hónapokra (2001–2004)



5. ábra. Vegetációs profilok tavasszal és nyáron



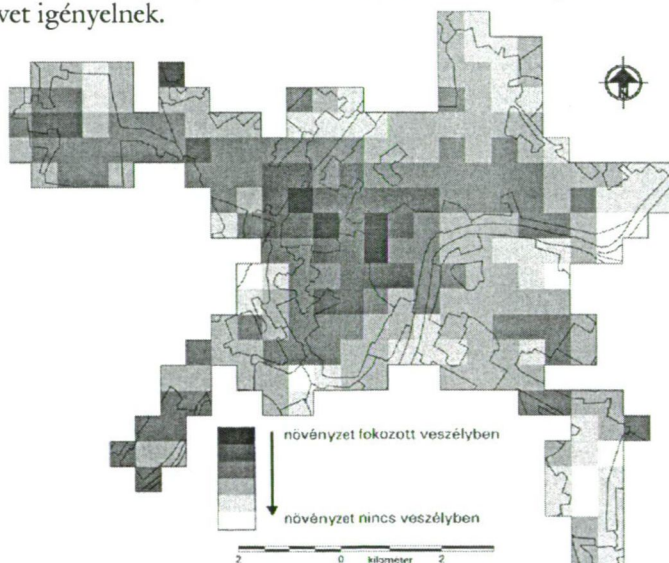
6. ábra. A városi vegetáció mennyisége Szegeden a nyári félév átlagértékei alapján

Az egyes években a kis vegetációs indexszel bíró felszínnek átfedése alapján 2001–2004 között kijelölhetők a Szegeden növényzeti szempontból, különböző mértékben veszélyeztetettnek nyilvánítható területek (8. ábra). A fokozottan veszélyes kategória vonatkozhat akár krónikusan vegetációszegény területre (Belváros), de öregedő,



7. ábra. Városi környezet és a természet-közeli környezet közötti különbség 2004-ben

vagy aszályérzékeny is lehet a növényzet, például egyes Tisza parti helyeken, vagy a természetközeli zónába tartozó Szőregen. Ezek a területek a már említett „extrém évek”-ben fokozottan veszélybe kerülhetnek, ezért a szükséges időszakokra külön kezelési tervet igényelnek.



8. ábra. A vegetációs ingadozás alapján veszélyben lévő növényzet

NDVI értékek vizsgálata közepes felbontású űrfelvételek alapján (1986–2006)

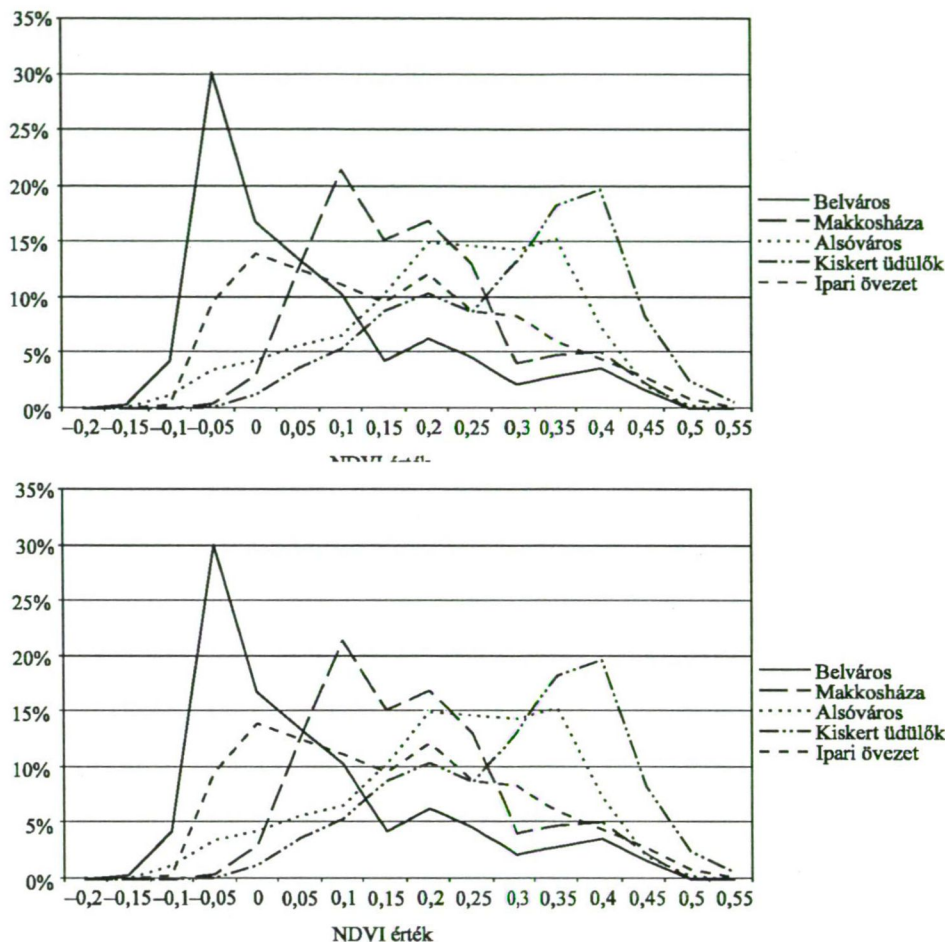
A beépítettség változásának elemzésekor az 1990-es népszámlálás alapkörzeteiből összerakott, a hagyományos városrészeket és beépítési típusokat elég jól követő ún. egyesített körzeteket vettük figyelembe. Ezek az egyesített körzetek többé-kevésbé egybeesnek a KSH által elemzett hagyományos körzetekkel (2. ábra). A körzeteken belüli NDVI értékek időbeli változásának vizsgálatakor a következő módszert alkalmaztuk. Az NDVI értékek lehetséges legtágabb, $[-1,1]$ intervallumát 0,05 szélességű intervallumokra osztottuk és a „folytonosnak” tekinthető NDVI térképekből egyenként (minden űrfelvételre) egy max. 40 osztályt tartalmazó tematikus térképet állítottunk elő. Kiszámoltuk, hogy az egyesített körzeten belül az így kialakított NDVI osztályokban hány darab pixel van, s így előállt minden egyes körzetre az adott időpontra vonatkozó körzetstatistika. A körzeten belüli főbb felszínborítási kategóriák, pl. növényzet, mesterséges felszínnek körzeten belüli arányának összehasonlíthatósága miatt a 0,05 szélességű NDVI osztályok területét az egyesített körzet területének %-ában fejeztük ki.

Az NDVI értékek elemzése az azonos térbeli felbontású Landsat TM, ETM+ felvételeken alapult. Az 1986 és 2006 közötti időszakból 5 felvétel állt rendelkezésre. A vizsgált időintervallum kezdetére és végére vonatkozó és körzetenként kiszámított NDVI értékek összehasonlítása (9a–b. ábra) rámutat néhány általános, a várost jól jellemző folyamatra.

Könnyen felismerhető, hogy a Belvárosban az épületek, a térszerkezet alig változtak az elmúlt 20 évben. A város ezen része őrzi leginkább az 1879-es árvíz utáni újjáépítés és a XX. század első harmadában folytatott városfejlesztés eredményeit. A 30 m-es felbontású űrfelvételekből számított NDVI értékek leggyakrabban negatív értékűek (a görbe aszimmetrikus, a második csúcs nagyobb NDVI értéknél kisebb gyakoriságú), mely utal a beépített felszínnek magas arányára a körzeten belül.

Az ipari területek a város belterületének jelentő részét foglalták el, a város K–NY-i tengelyében. A rendszerváltás utáni időszakban az ipari tevékenység csökkent a városban, de a mesterséges, betonnal, aszfalttal fedett felszínnek, az épületek felszámolására nem került sor, csupán szabad felszínnek növényzete erősödött meg. Nem hagyható figyelmen kívül a felhagyott ipari területek gyomosodása sem.

A lakótelepek (pl. Makkosháza városrészben) is felépültek az 1980-as évek végére, így az épületek közötti nyílt felszínnek beépítése, vagy a zöldfelületek növényzetének megerősödése a legjellemzőbb folyamat a lakótelepi körzetekben, mely az NDVI értékek kis mértékű pozitív irányú eltolódásában figyelhető meg. A görbe azért egycsúcsú, mert az épületek jellemző mérete és az űrfelvételek térbeli felbontása közel egyenlő, így kevés homogén, csak mesterséges felszínt reprezentáló képelem jön létre, míg a nagyobb méretű nyílt felszínre, zöldfelületekre eső homogén képelemek száma nagyobb lesz.



9a-b. ábra. NDVI értékek alakulása néhány jellegzetes beépítésű körzetben (1986, 2006)

Az alsóvárosi zónában a földszintes, gyakran alacsony komfortfokozatú lakó épületekből és nagyobb területű, nyílt szabad talajfelszíneket is tartalmazó hátsó kertből álló hagyományos beépítési mód volt jellemző. Ezt folyamatosan felváltja a társasházi, családi házas beépítés, mely jelentősen megnövelte a mesterséges felszín arányát, mely egyértelműen bizonyítható az NDVI görbe csúcsának negatív irányba történt eltolódásával.

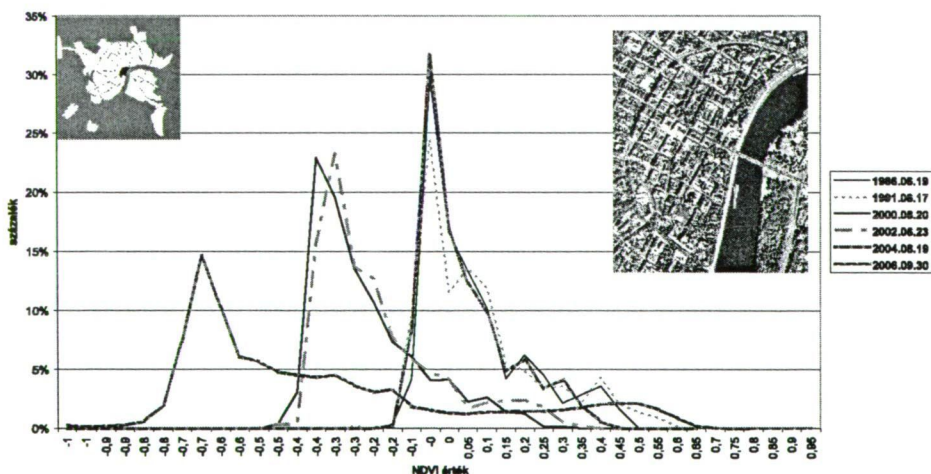
Ugyanez a folyamat ismerhető fel a kertvárosi területeken is. A körzetre vonatkozó NDVI görbe csúcsa magas NDVI értéknél jelentkezik, mely a magas klorofiltartalmú szabad zöldfelületek jelentős területi fedésére utal. Ezek a zöld növényekkel fedett felszínek, a beépítetlen felszínek miatt gyakran mezőgazdasági hasznosításúak

voltak, építési tilalom alatt álltak. Ennek feloldása és a közművesítés után a terület felértékelődött és a telkeken jelentős értékű családi házak, kisebb társasházak épültek fel az elmúlt években.

6.1.1. A Belváros

A Belváros viszonylag állandó területi egységet képez, a lakások 74,8%-a a 70-es évek előtt épült (KSH, 2003), így a vizsgált időszakra (1986–2006) a lakásépítések csupán 25,2%-a esett, többnyire a korábbi épület felújításával. Ezt az értéket messze felülmúlja a másik 8 körzet hasonló mutatója. Beépítési mód viszonylagos változatlanságát a Belváros NDVI diagramjai is jól szemléltetik, hiszen az 1986-os, az 1991-es és a 2006-os TM felvételek grafikonjai egybeesnek. A nagyfokú beépítettséget és a mesterséges objektumok (utak, intézmények, lakóházak) magas arányát mutatja a $-0,1$ és $0,1$ NDVI értékek közötti gyakorisági csúcs. Ez mindhárom úrfelvétel esetén esetében 30% körüli. A magasabb NDVI osztályokban megjelenő újabb csúcsok a zöldfelületeket reprezentálják (pl. Széchenyi-tér, Stefánia), de a csúcsok gyakorisági értékei a parkok, a zöldterületek kis mérete miatt alacsonyabbak (4, 6,25%).

A 2000.08.20-án és a 2002.06.23-án készült Landsat ETM+ úrfelvételek – mint a 10. ábra is mutatja – nehezen összehasonlíthatóak az 1986-ban, 1991-ben és a 2006-ban készütekkel. Mindkét görbe maximuma $0,25$ – $0,3$ -del negatív irányba tolódik el, amely különbséget nem lehet a körzeten belüli építkezésekkel magyarázni, hiszen pont ez az a városrész, amelyben a legkisebb volt a beépítettség terén a változás az elmúlt 30 évben. Ezt az állítást támasztja alá a 2006.09.30-ai úrfelvétel grafikonja is, mely az 1986-os, 1991-es görbékkel mutat egybeesést. Így az eltérés oka az eltérő kámpalkotó szenzorokra vezethető vissza.



10. ábra. NDVI diagram a Belvárosról és egy IKONOS pankromatikus felvétel kivágat

A szupernagy, 4 m-es felbontású IKONOS multispektrális űrfelvétel alapján számított NDVI értékek, a geometriai felbontásból következően, szélesebb intervallumba esnek. A spektrálisan vegyes pixelek által fedett területek aránya csökken, emiatt a homogén mesterséges felszínek a skála negatív részére tolódnak, míg a nagyobb, növényzettel fedett felszínekre vonatkozó NDVI értékek a 0,4–0,6-es intervallumba esnek és a maximum elérheti a 0,75-os értéket. A negatív NDVI értékek esetén a legnagyobb gyakoriságú értékektől a görbe lejtése kevésbé meredek mint a TM felvételekre vonatkozó görbéknél. A negatív tartományban fellépő csúcsok az eltérő mesterséges felszínborítások térképezését teszik lehetővé.

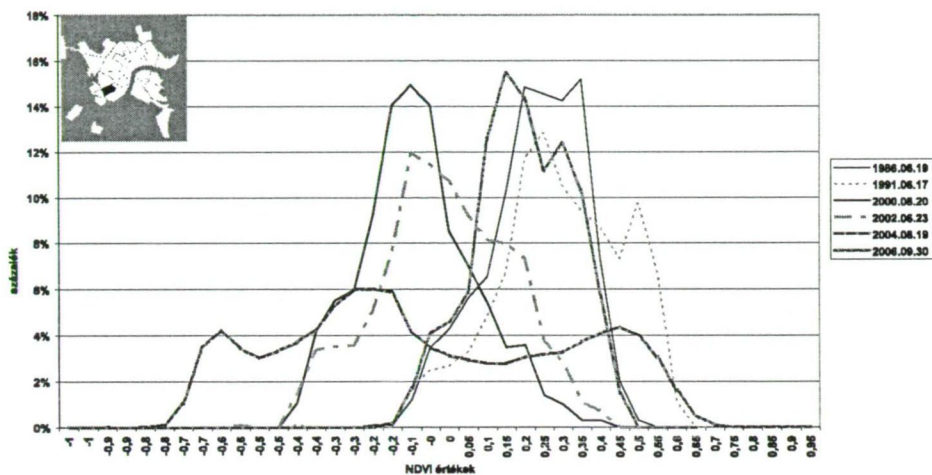
6.1.2. Belső lakóterület – Alsóváros

A belső lakóövezetből az Alsóváros keleti részét választottuk ki. Az erre a területre vonatkozó NDVI diagram jelentősen különbözik a belsővárosiétól (11. ábra). A görbék jellegzetesen egycsúcsúak, a maximális gyakorisági érték a 0,2–0,3 értékek között lép fel. A terület spektrális reflektanciájának térbeli léptéke ugyanúgy 30 m körüli mint amekkora a TM felvétel térbeli felbontása. Ez azt jelenti, hogy a 30 m-es felbontású rácshálózaton belül szinte mindig találunk beépített és természetes felszíneket, így a Landsat TM felvételeken sok ún. spektrálisan vegyes, kevert pixel jön létre. Ezek a képelemek reprezentálják az átlagosan 20*35 m (kb. 700 m²) méretű telken a beépített felszíneket (arányuk a telken 30–40 %-os), valamint a nyílt és a növényzettel fedett felszíneket, melyek aránya 60–70 %-os a telken belül). Mivel a növényzettel borított felszín aránya nagyobb mint a mesterséges felszínké, ezért az ilyen, spektrálisan vegyes képelemek NDVI értéke általában pozitív.

Az egyes időpontokhoz tartozó grafikonok már nem esnek egybe. Az 1970-es évek után épült lakóházak aránya 41,7 % és még napjainkban is folynak itt felújítások és építkezések (KSH, 2003). Ezzel magyarázható, hogy a 2006-os TM felvétel NDVI görbéjének maximuma alacsonyabb NDVI értékeknél lép fel, mint az 1986-os vagy az 1991-es űrfelvételeké. Ez a tendencia a beépítés mértékének növekedésére utal a körzeten belül. A felértékelődő városrészben az építési szabályzat keretein belül többlakásos társasházak épülnek, és a korábbi beépítettségi arány a telken belül megfordul. A beépített, lefedett felszín aránya 50–60%-os is lehet, míg a nyílt felszínké 50 % alá csökken.

A 2000-es és a 2002-es ETM+ felvételeket összehasonlítva szintén az NDVI értékek csökkenését figyelhetjük meg.

A 2004-es IKONOS felvétel NDVI görbéje teljesen eltérő képet mutat. A görbe háromcsúcsú, ebből kettő a negatív, egy a pozitív értéktartományban lép fel. A beépített felszín, a 4 m-es felbontás miatt, jobban elkülönülnek a természetes felszínborításoktól. A negatív NDVI értékeknél fellépő két csúcs feltehetően a két leggyakrabban előforduló és összességében nagy területet lefedő mesterséges anyag, az aszfalt és a cseréptetőzet miatt jelentkezik és az eltérő reflektancia miatt válik elkülöníthetővé.



11. ábra. Az Alsóváros NDVI diagramja

6.1.3. A lakótelepek – Makkosháza

A lakótelepi körzetek (Felsőváros, Tarján, Makkosháza, Északi városrész, Újrókus, Odessza) közül Makkosháza példáján kívánjuk szemléltetni a lakótelepek általános sajátosságait. Az ilyen területhasználtságú területeken az 1970-es évektől napjainkig a lakóházak 89,1%-a épült, míg ez az érték Makkosháza esetében 100%. Ezen belül is 1980 és 1989 között épült az épületek 99,4 %-a. A lakótelepeken élnek a városban a legtöbben 65375-en, ami a lakosság 38,9 %-át teszi ki (KSH, 2003). Emiatt kiemelt figyelmet kell fordítani a zöldfelületek körzeten belüli arányának és előfordulásuknak.

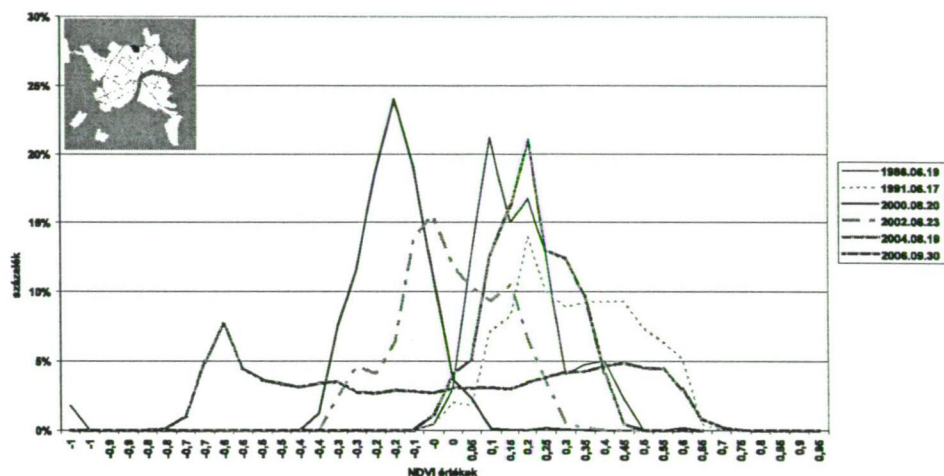
Az alacsony NDVI osztályok arányai magasnak mondhatók az 1986-ban, hiszen a lakótelepi épületek közötti nagyobb nyílt felszín rendezése, parkosítása még nem fejeződött be. Ezzel szemben az 5 évvel későbbi 1991-es adatsor maximuma már a 0,25-ös értéknél jelentkezik és a magasabb NDVI értékű területek aránya is jelentős növényborításra utal. A terület azonban parkokban szegény, a magasabb NDVI osztályok a gyenge minőségű építési törmelékre telepített növényzetet jelöli. Az itt lévő zöld felületek, mind esztétikailag, mint funkcióját tekintve messze elmarad a parkok értékeitől.

Az ETM+ szenzorok által szolgáltatott úrfelvételek NDVI görbéinek csúcsai és az 1986-os TM kép NDVI görbéjének csúcsa között a távolság csak 0,15–0,25, ami kisebb a Belváros értékénél, tehát itt a csúcsok közeledtek egymáshoz, vagyis ezek alapján is a zöldfelületek aránya nőtt.

A 2006-os úrfelvétel NDVI értékei utalnak arra a jellemző folyamatra, hogy a nyílt, növényzettel fedett felszínnek egy részét ellátó funkciójú (nagy méretű épület,

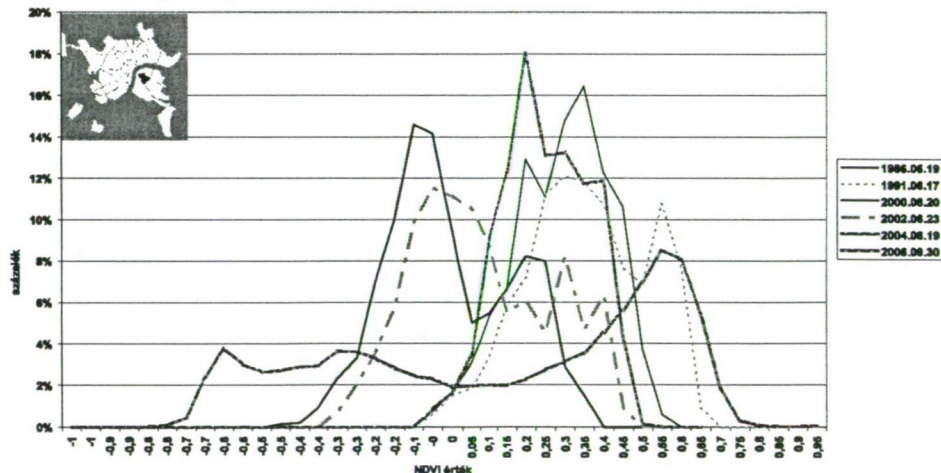
nagy felületet lefedő parkolók) beépítés foglalja el, ezáltal csökken a zöldterület nagysága.

Az IKONOS felvétel NDVI görbéje kétszcűsű, a két csúc között fellépő szélesebb nehezen osztályozható értékekkel. A felbontás ugyan lehetővé teszi az épületek és a zöldfelületek szétválasztását, viszont jellegzetes problémaként felmerül a magas épületek melletti árnyékolt felszínek osztályozási nehézsége.



12. ábra. A Makkosháza NDVI diagramja

6.1.4. Az újszegedi liget és környéke

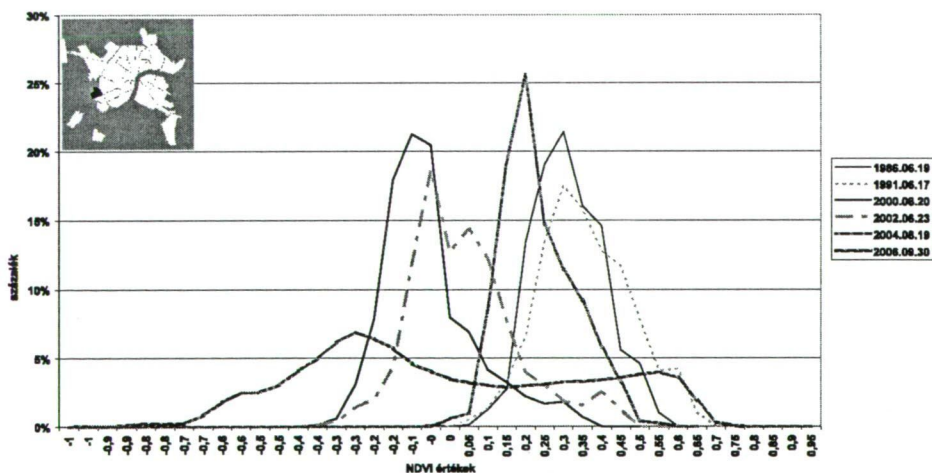


13. ábra. A Népliget és környéke NDVI diagramja

A terület tartalmazza az újszegedi liget teljes területét és az attól keletre eső beépített területet. A nagy kiterjedésű zöldfelület miatt az NDVI görbék maximuma a 0,35–0,4-es értékeknél jelentkezik (13. ábra). Az általában egycsúcsú görbék azt mutatják, hogy a beépített felszín mintázata az alsóvárosihoz hasonló, emiatt a vegyes képelemek száma magas. A zöld felület feltűnően magas arányát az IKONOS szupernagy felbontású műholdképe szemlélteti leginkább és a háromcsúcsú görbén jól elkülöníthetők a mesterséges felszínek főbb típusai (útjelület, épületek) is.

6.1.5. Kertvárosias lakóterület

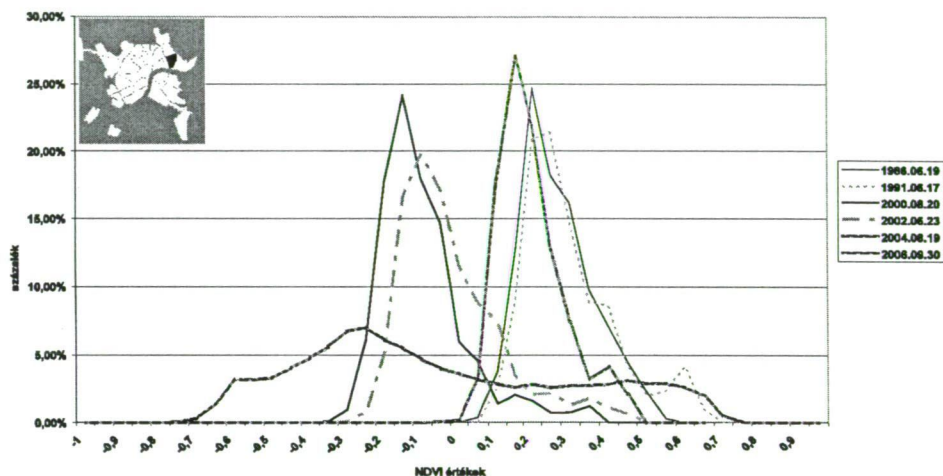
A kertvárosias lakóterületek a városközponttól távolabb, szétszórtan helyezkednek el. Legnagyobb részét a Körtöltésen kívüli telepek képezik. A lakóházak többsége 1945 és 1989 épült (78,8%), de a rendszerváltozás utánra tehető az építkezések 19,2%-a, amivel a területhasznosítási egységek közül a második helyen áll. A lakások nagy alapterületűek, 97 m²-es átlagterületükkel itt a legnagyobbak. (KSH, 2003). A TM felvételek görbéi egycsúcsúak és gyors lefutásúak, mely az alsóvárosi mintázattal mutatnak hasonlóságot. A házak szorosan az út mellett, egymás mellett, sorban helyezkednek el, mögöttük kertek, udvarok, zöld felületekkel, amelyek a magasabb értékeknél jelennek meg, viszont a parkokat csak elvétve találunk a körzetben. A TM és az ETM+ felvételek NDVI görbéinek csúcsai közötti különbség (0,5) arra utal, hogy az új beépítések miatt csökkent a zöldfelületek aránya, melyet azután a 2006-os TM felvétel gyakorisági csúcsának negatív irányba történő eltolódása (az 1986-os görbe csúcsához képest) is igazol. Az IKONOS felvétel görbéje kétcsúcsú. A negatív és pozitív NDVI értékek megoszlása 54,26% és 46,74%, ami a beépített és a zöldfelületek hasonló arányát tükrözi (14. ábra).



14. ábra. Kecskés (Ságvári) telep NDVI diagramja

6.1.6. Falusias lakóövezet – Petőfi telep

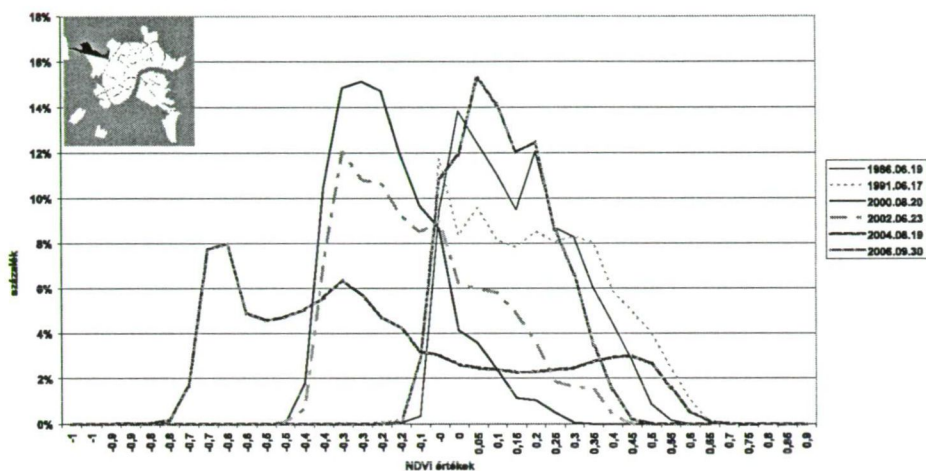
A falusias lakóövezetek lakóházainak 51,3%-a már 1970 előtt megépült. 1970-től a rendszerváltásig volt egy nagyobb építkezési hullám, ekkor 41,4%-át építették meg. (KSH, 2003). 1986-tól 1991-ig nagyobb változás nem is figyelhető meg az adatsorból, a két időpontot reprezentáló görbe egybeesik, csak a csúcsaik térnek el (15. ábra). A 2006-os értékek eltolódása negatív irányba a megélénkülő házépítések okozta zöldterület csökkenését mutatják.



15. ábra. Petőfi telep NDVI diagramja

6.1.7. Ipari övezet

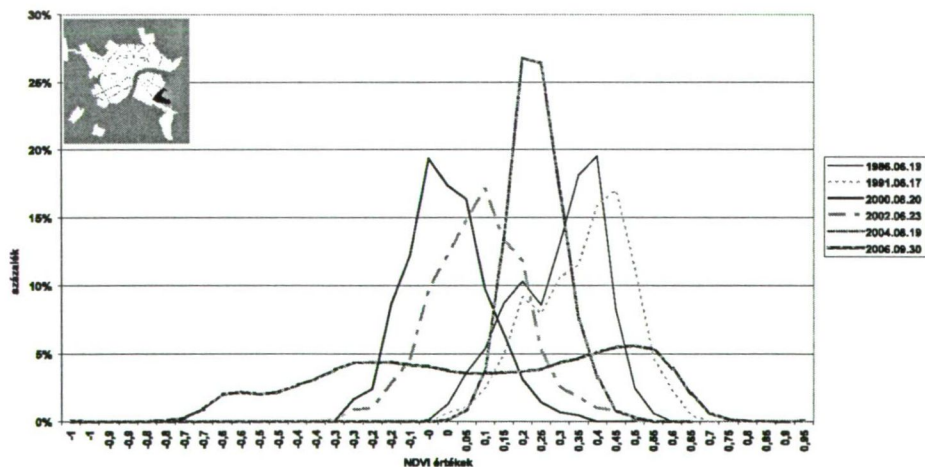
Az Ipartelep grafikonjai jóval nagyobb szóródást mutatnak, mint a korábbi körzetek. A görbék ugyanis jóval szélesebb skálán vesznek fel értékeket (16. ábra). Az egyes maximumok a belvárosihoz hasonlóan 0-hoz közeli értékűek. Az NDVI értékek széles intervalluma a körzet heterogén felszínborítottságára utal. A lakóházak aránya itt alacsonynak számít (0,3%), s a város lakosságának csupán 0,6%-a lakik itt (KSH, 2003). Az épületek aránya is alacsony, de a köztes területet mesterséges anyagokkal (aszfalt, beton) fedték le. A növényzetet elhanyagolt, elburjánzó gyomok képezi. Ezek a diagramon a második illetve harmadik csúcsokban jelennek meg, 8–12% körüli értékkel. Így, bár a vegetáció aránya magas, a lakosság számára nem megfelelő minőségű, nem hasznosítható. Az IKONOS felvétel alapján is elkülöníthető a mesterséges felületek két csoportja (aszfalt, beton felszínek), melyek területi aránya a körzeten belül igen magas a nyílt és zöldfelületekhez képest (65–35%).



16. ábra. Ipartelep NDVI diagramja

6.1.8. Kiskerti üdülők

A város körül kialakított hobbikert-zóna ma már sok ember otthona. A lakások 52,1%-a 1970–1989, míg 47,3%-a 1990–2001 között épült. A város üdülőinek 51,4%-a itt található (KSH, 2003). A kiskerteknek köszönhetően az NDVI értékek többsége a 0,4–0,5-es értékek közé esik (17. ábra). Az 1986-os és az 1991-es mérések görbéi egybeesnek, és mindkét esetben megjelenik egy nagyobb és egy kisebb értékű gyakorisági csúcs. Az alacsonyabb NDVI csúcs pedig a kiskertekhez tartozó üdülőházakat miatti vegyes pixelek miatt alakul ki. A beépítettség mértéke alacsony,



17. ábra. Kiskerti üdülők NDVI diagramja

a házak egymástól távol helyezkednek el, a párhuzamos, egymást merőlegesen metsző utakat korábban nem borította mindenhol aszfalt. A kiskerti funkcióból eredően a fák és a házak mögött húzódó kertek a magasabb NDVI értékek arányát növelik. Az IKONOS műholdkép görbájében megjelenő maximum érték a 0,5–0,55 osztályban is ezt reprezentálja és a pixelek 59,32%-a pozitív NDVI osztályba esik. A kapcsolódás szándékával létrehozott egységek lakóhely funkciója a csatornahálózat és a közvilágítás kiépítésével, illetve az utak szilárd burkolattal való ellátásával robbanásszerűen teljeseedik majd ki. (KSH, 2003). A 2006-os felvétel alapján igazolható a folyamat elindulása, hiszen a közművesített terület értékesítése után kisebb lakóparkok létesültek a körzetben, illetve nagy alapterületű magánházak épültek a korábban mezőgazdasági hasznosítású területen.

7. Összefoglalás

Az NDVI értékek elemzése alapján elmondható, hogy – habár bizonytalanságokat rejt (eltérő szenzor, eltérő képkészítési időpont, eltérő felbontásból eredő különbségek) – a változások tendenciája és a körzetek jellegzetes beépítési típusai elemezhetőek ezzel a módszerrel. A spektrálisan kevert pixelek jelentős hatása ellenére az NDVI értékek 20 éves adatsora egyértelműen bizonyította a beépített területek és a zöldfelületek növekedését vagy csökkenését az egyes körzetek belül. A TM, ETM+ képek az idősoros elemzéshez szolgáltatott megbízható adatokat, míg az IKONOS felvétel vizsgálata a városi reflektancia léptékének térbeli változásaira mutatott rá.

Irodalom

- Bauer, M. E., Heinert, N. J., Doyle, J. K., & Yuan, F. (2004). Impervious surface mapping and change monitoring using Landsat remote sensing. *ASPRS annual conference proceedings*, May 23–28, 2004, Denver, Colorado. Bethesda, MD: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.
- Gillies, R. R., Box, J. B., Symanzik, J., & Rodemaker, E. J. (2003). Effects of urbanization on the aquatic fauna of the Line Creek watershed, Atlanta – a satellite perspective. *Remote Sensing of Environment*, 86, 411–422.
- KSH (2003). A nagyvárosok belső tagozódása Szeged, KSH Szeged 2003
- Mihály Sz. 2004: A Földmérési és Távérzékelési Intézet K+F tevékenysége és eredményei, mint a magyar téradat-infrastruktúra része Geodézia és Kartográfia 2004. (56. évf.) 8. sz. p. 3–36.
- Mucsi L. 1996. A városökológia elmélete és gyakorlati alkalmazása Szeged példáján PhD disszertáció. Kézirat Szeged
- Szeged Megyei Jogú Város Közgyűlésének 59/2003. (XII. 5.) Kgy. Rendelete Szeged Megyei Jogú Város Építési Szabályzatáról